

묵납자루, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae: Acheilognathinae)의 성적 이형과 이차 성징

백 현 민 · 송 호 복^{1,*}

국립환경과학원 생태계조사단, ¹강원대학교 자연과학대학 생명과학부

Sexual Dimorphism and Secondary Sexual Characters of *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae: Acheilognathinae)

Hyun-Min Baek and Ho-Bok Song¹

Ecosystem Survey Team, National Institute of Environmental Research,
Incheon 404-708, Korea,

¹Division of Life Sciences, College of Natural Sciences, Kangwon National University,
Chunchon 200-701, Korea

The matured female and male of *A. signifer* differed in external morphology and body color. There were significant differences in PAD, PAB, PMP and PQR between matured female and male. Green color was very widely distributed in whole as nuptial color, that is similar to green and cyan color in the body part, yellow color in the ventral part and red and yellow color in the tail part. The nuptial organ of *A. signifer* was formed in a cluster on the horny substance of both sides above the mouth. There were 25~30 nuptial organs in a side. The nuptial organs disappeared with crumbling down from middle part of nuptial organ after spawning period. The nuptial organs disappeared mostly in September as non spawning period and a part of the nuptial organs remained as a vestige in the edges of both sides.

Key words : *Acheilognathus signifer*, sexual dimorphism, secondary sexual characters, nuptial color, nuptial organ

서 론

성적이형 (sexual dimorphism)은 자웅이체의 동물에서 성에 따라 외부 형질이 다르게 나타나는 현상으로 (양 등, 1999), 어류의 경우 종에 따라 외부적으로 암·수간의 신체적 특징, 크기, 혼인색 등으로 흔히 나타나, 분류학적 자료로 사용할 수 있고, 이를 이용하여 성 선택, 세력권 형성, 생식 행동 등 주로 산란과 관련된 다양한 생태학적 이론을 뒷받침하는 중요한 단서로 이용된다. 납

자루아과 (Acheilognathinae) 어류는 대부분 산란기가 되면 수컷은 화려한 혼인색이 현저해 지고, 추성 (nuptial organ)이 형성된다. 그러나 암컷의 경우에는 체색의 변화는 뚜렷하지 않지만 (김, 1991; 송, 1994; 백, 2005), 산란관이 길게 신장되는 특징이 있다 (송, 1994; 백, 2005). 이러한 이차 성징 (secondary sexual character)은 종 특유의 분류학적 형질일 뿐만 아니라 산란시기 및 생식주기를 알려주는 생물학적 표징이 된다.

납자루아과 어류는 잉어과 (Cyprinidae)의 소형 담수어로 대부분이 중국대륙을 중심으로 시베리아 남부, 한국, 일본, 북부 베트남, 대만 등 주로 동아시아에 분포하

*Corresponding author: hoboksong@hanmail.net

고 있는 것으로 알려져 있다(長田, 1975). 우리나라에는 3속 15종이 분포하고 있으며 그 가운데 7종이 한국 고유종이고, 1종은 절멸된 것으로 추정되고 있다(김 등, 2005). 묵납자루, *Acheilognathus signifer*는 Berg (1907)가 함경남도 풍동에서 채집하여 기재한 한국 고유종으로, 한강수계를 포함하여 그 이북지역인 임진강, 대동강, 압록강 등에 분포하며(內田, 1939), 하천의 중·상류에 주로 서식한다(백 등, 2002, 2003; 백과 송, 2005).

국내에 분포하는 담수어류의 성적 이형과 이차성징에 대하여 김(1974), 채와 양(1987), 변(1996), 김과 김(2001), 김과 양(2002), 송 등(2005)이 보고한 바 있고 본 종은 Baek *et al.* (2004)이 혼인색과 산란관에 대하여 보고한 바 있었다.

본 연구는 한국고유종인 묵납자루의 성(sex)에 따른 계측 형질과, 혼인색의 패턴 및 수컷의 추성 발달 등을 조사, 연구하여 본 종에 대한 이해와 더불어 생물학적 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구를 위하여 2004년 4월부터 9월에 걸쳐 북한강 상류인 강원도 홍천군 내촌면 내촌천(N: 37° 48' 10", E: 128° 05' 14")에서 족대(망목 4×4 mm)와 유인망(25×25×70 cm, 망목 3×3 mm)을 이용하여 채집하였다.

*A. signifer*의 외부 형질의 성적 이형에 대하여 조사하기 위해 성숙한 암, 수 각각 20개체를 대상으로 외부 형태를 계측하여 비교하였고, 각 각의 형질이 차이가 있는지 t-test로 검정하였다. 계측에 사용한 암컷의 전장은 55.5~76.3 mm, 체장이 43.9~60.7 mm이었고 평균 전장은 64.3 mm, 평균 체장은 50.6 mm이었다. 수컷은 전장 60.8~82.7 mm, 체장 48.5~66.0 mm이었고 평균 전장은 72.1 mm, 평균 체장은 57.3 mm이었다. 이 때 외부형태는 1/20 mm vernier caliper를 사용하여 측정하였고 Hubbus and Laglar (1964)의 방법(Fig. 1)에 따라 체장(standard length)에 대한 체고(body depth), 체폭(body width), 두장(head length), 등지느러미 기점거리(predorsal length), 뒷지느러미 기점거리(preanal length), 미병장(caudal peduncle length), 미병고(caudal peduncle depth)의 백분비를 구하였으며, 두장에 대하여 안경(eye diameter), 양안 간격(interorbital width), 문장(snout length), 입수염 길이(barbel length)의 백분비도 구하였다.

산란기에 발달하는 혼인색(nuptial color)을 분석하기 위해 *A. signifer*의 수컷을 채집 즉시 MS222를 이용하여 마취한 다음 곧바로 촬영에 임하였다. 모든 촬영은

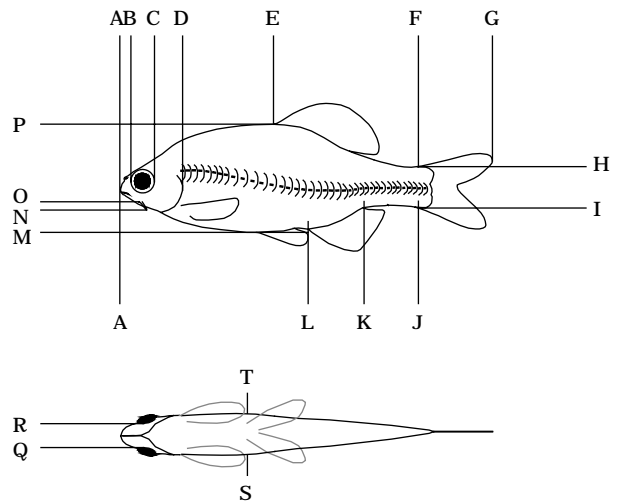


Fig. 1. Diagrammatic illustration showing the measuring methods of *Acheilognathus signifer*. A-G: Total length, A-F: Standard length, A-E: Predorsal length, A-D: Head length, A-L: Preanal length, A-B: Snout length, B-C: Eye diameter, H-I: Caudal peduncle depth, J-K: Caudal peduncle length, M-P: Body depth, N-O: Barbel length, Q-R: Interorbital length, S-T: Body width.

SLR digital camera (Canon, EOS10D)와 macro lens (Canon Macro Lens EF 100 mm 1:1.28 USM)를 사용하였고, 동일한 촬영 조건을 유지하기 위하여 flash (Canon 550 EX)를 조명으로 이용하였다. 최대한 물고기의 체색과 동일한 원색(original color)을 표현하기 위하여, 반사율 18%의 gray card를 사용하여 white balance와 표준노출을 설정하였고, 촬영시 QP card와 함께 촬영한 후 이를 이용하여 색상을 보정하였다. 색상의 보정과 체색의 분석은 Microsoft사의 Adobe Photoshop® 7.0을 이용하였다.

수컷의 산란기와 비산란기의 추성(nuptial organ)을 비교하기 위하여 머리부분을 잘라내어 1% karnovsky's fixative로 고정된 후 0.05 M cacodylate buffer로 각 20분씩 3회, 1% osmic acid로 2시간 처리하고 세척 후 ethanol 탈수 과정과 amyl acetate 용액을 거쳐 critical point dryer로 건조시켰다. 이를 gold coating (POLANON SC-7620) 후 주사전자현미경(ZEISS LEO-1420VP)으로 관찰하면서 촬영하였다.

결 과

1. 성적 이형 (sexual dimorphism)

11개의 계측형질 중에 4개의 형질에서 암수 간에 유

Table 1. Two-sample t-test on biometric characters grouped by sex in *Acheilognathus signifer*

Biometric character	Group	N	Mean (mm)	SD	df	p
PAE	Female	20	54.45	3.722	35.1	0.431
	Male	20	53.63	2.773		
PAD*	Female	20	24.32	1.358	32.7	0.001 <
	Male	20	22.67	0.887		
PAL	Female	20	62.43	4.144	29.9	0.323
	Male	20	63.49	2.321		
PAB*	Female	20	27.26	2.198	37.5	0.001
	Male	20	29.53	1.960		
PBC	Female	20	34.15	2.235	37.9	0.861
	Male	20	34.28	2.353		
PHI	Female	20	13.02	0.579	36.9	0.656
	Male	20	13.12	0.691		
PJK	Female	20	20.35	1.547	33.8	0.131
	Male	20	19.41	2.232		
PMP*	Female	20	33.76	2.946	31.6	0.008
	Male	20	35.97	1.811		
PNO	Female	20	23.43	2.878	37.1	0.996
	Male	20	23.44	3.361		
PQR*	Female	20	35.11	2.296	37.1	0.001 <
	Male	20	37.73	1.959		
PST	Female	20	13.46	1.167	36.4	0.104
	Male	20	14.15	1.440		

Abbreviations, PAE: percentage of predorsal length about standard length, PAD: percentage of head length about standard length, PAL: percentage of preanal length about standard length, PAB: percentage of snout length about head length, PBC: percentage of eye diameter about head length, PHI: percentage of caudal peduncle depth about standard length, PJK: percentage of caudal peduncle length about standard length, PMP: percentage of body depth about standard length, PNO: percentage of barbel length about head length, PQR: percentage of interorbital width about head length, PST: percentage of body width about standard length.

의한 차이가 있었다. 체장에 대한 두장의 백분비 (percentage of head length about standard length)에서 암컷이 $24.32 \pm 1.358\%$, 수컷이 $22.67 \pm 0.887\%$ 로 암컷이 높았으며 암수 간에 유의한 차이가 있었다 ($df=32.7$, $p < 0.001$). 두장에 대한 문장의 백분비 (percentage of snout length about head length)는 암컷이 $27.26 \pm 2.198\%$, 수컷이 $29.53 \pm 1.960\%$ 로 수컷이 높았으며 암수 간에 유의한 차이가 있었다 ($df=37.5$, $p=0.001$). 체장에 대한 체고의 백분비 (percentage of body depth about standard length)는 암컷이 $33.76 \pm 2.946\%$, 수컷이 $35.97 \pm 1.811\%$ 로 수컷이 높았으며 암수 간에 유의한 차이가 있었다 ($df=31.6$, $p=0.008$). 두장에 대한 양안간격의 백분비 (percentage of interorbital width about head length)는 암컷이 $35.11 \pm 2.296\%$, 수컷이 $37.73 \pm 1.959\%$ 로 수컷이 높았으며 암수 간에 유의한 차이가 있었다 ($df=37.1$, $p < 0.001$). 체장에 대한 두장의 백분비를 제외한, 체장에 대한 체고의 백분비, 두장에 대한 문장 및 양안간격의 백분비에 대한 계측형질에서 수컷이 암컷보다 체장에 대

한 백분비가 높게 나타났다 (Table 1, Fig. 2). 그러나 체장에 대한 체폭, 등지느러미 기점거리, 뒷지느러미 기점거리, 미병장, 미병고, 두장에 대한 안경, 입수염 길이의 계측형질에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다 (Table 1).

2. 이차성징 (Secondary sexual characters)

1) 혼인색 (nuptial color)

산란기에 수컷의 측면 혼인색 패턴을 분석한 결과는 Fig. 3에 나타내었다.

눈을 중심으로 한 머리부위에서 눈 위쪽으로 검은색 계열이 분포하고 전체적으로 녹색계열의 색이 가장 폭 넓게 분포하며 푸른색계열이 눈을 중심으로 앞쪽과 뒤쪽에 분포하는 양상을 나타냈다. 몸통부분은 녹색과 푸른색계열이 대부분이나 녹색이 훨씬 더 넓은 범위에 분포하였다. 배 부위에는 노란색계열이 대부분이었고, 미병부는 붉은색계열과 노란색계열이 분포하였다. 등지느러미와 배지느러미 및 가슴지느러미는 검은색계열이 뚜렷

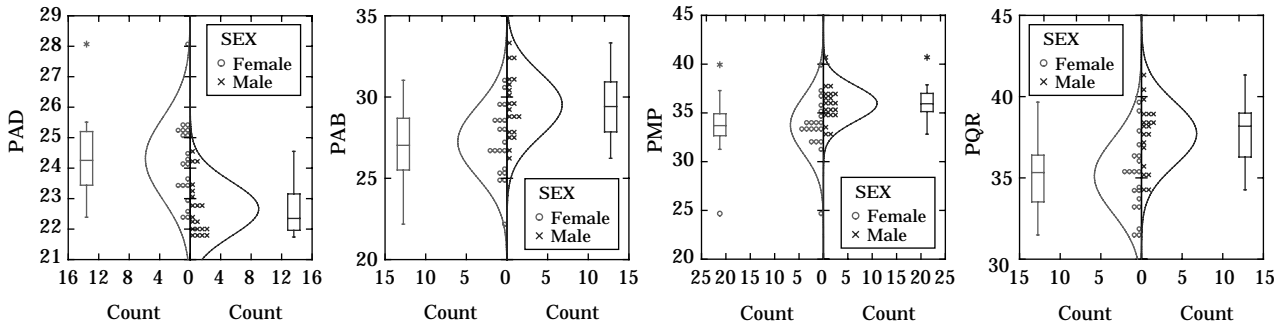


Fig. 2. Dispersion and mean of biometric characters in Korean bitterling, *Acheilognathus signifer* collected at Naechoncheon in Hongcheon-gun, Gangwon-do from May, 2004. Abbreviations, PAD: percentage of head length about standard length, PAB: percentage of snout length about head length, PMP: percentage of body depth about standard length, PQR: percentage of interorbital width about head length.

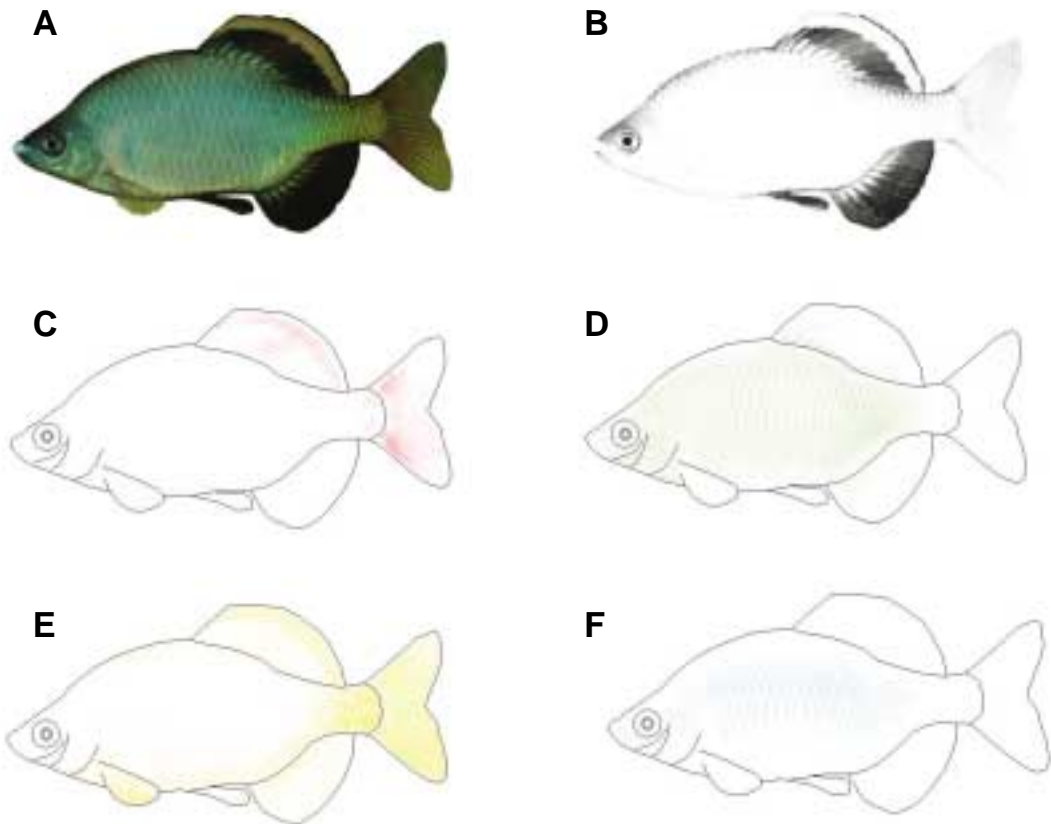


Fig. 3. Analyses of nuptial color pattern in Korean bitterling, *Acheilognathus signifer* collected at Naechoncheon in Hongcheon-gun, Gangwon-do from May, 2004. A: Nuptial color of *Acheilognathus signifer* collected at Naechoncheon in Hongcheon-gun, Gangwon-do from May, 2004. B: Blacks color distribution, C: Reds color distribution, D: Greens color distribution, E: Yellows color distribution, F: Cyan color distribution.

하게 분포하였다. 또한 등지느러미에는 붉은색계열의 띠 모양이 뚜렷하였고, 노란색계열은 등지느러미, 꼬리지느러미와 뒷지느러미에 골고루 분포하였다.

2) 추성 (nuptial organ)

수컷의 산란기와 비산란기 추성 발달에 대하여 알아보기 위하여 SEM을 이용하여 관찰, 촬영한 결과 산란기에 *A. signifer*의 추성은 입의 바로 위 양쪽으로 각질

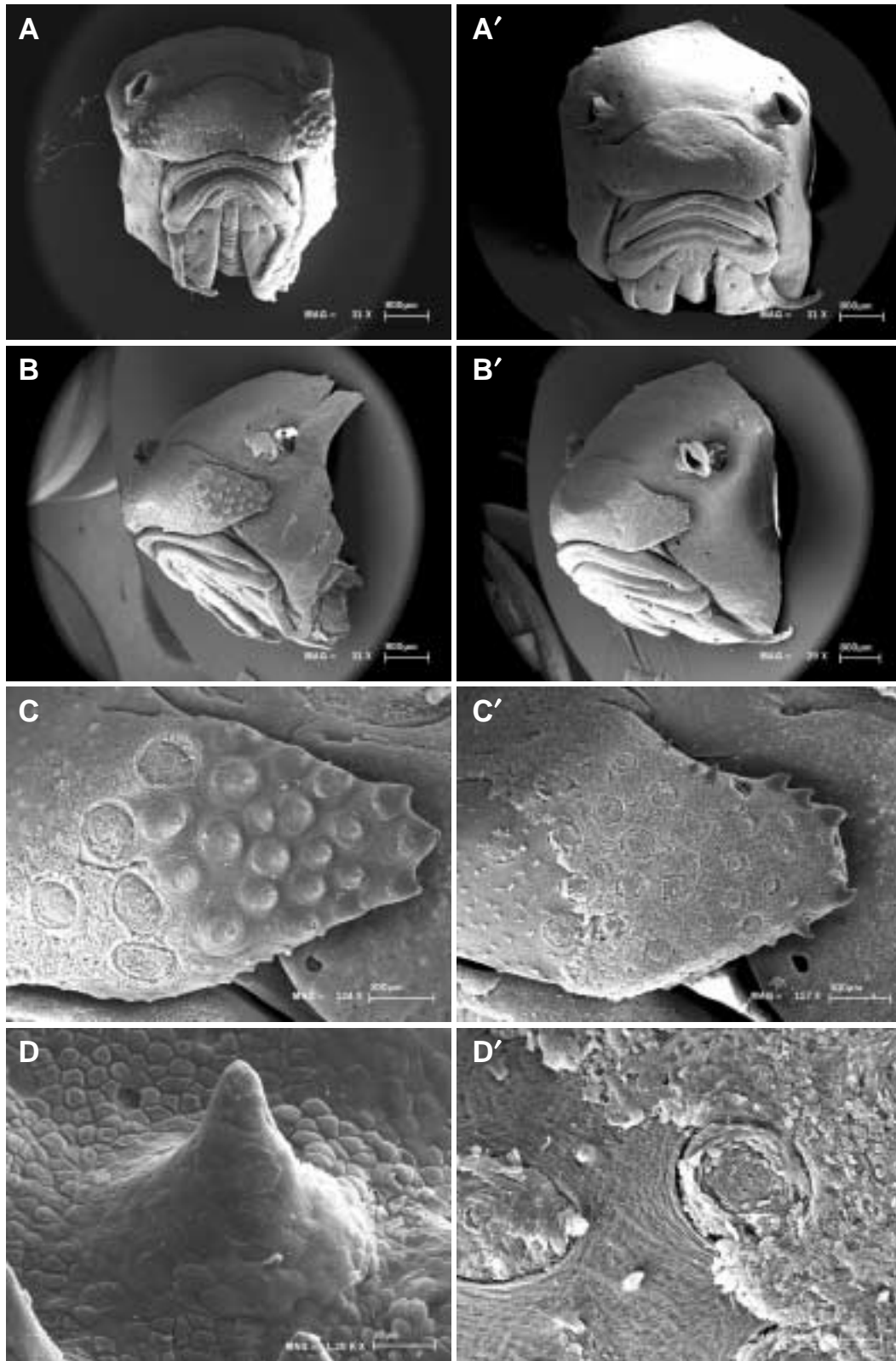


Fig. 4. Photographs of scanning electron microscope of nuptial organ in Korean bitterling, *Acheilognathus signifer*. A: Frontal view (spawning season), A': Frontal view (non-spawning season), B, C: Lateral view (spawning season), B', C': Lateral view (non-spawning season), D: Morphology of nuptial organ (spawning season), D': Vestige of nuptial organ (non-spawning season).

위에 밀집되어 형성되어 있었다. 한쪽에 25~30개 정도의 추성이 있고, 그 크기는 하부 직경 70~280 μm , 높이 90~150 μm 로 입 중앙을 기준으로 바깥쪽으로 가면서 크기가 점점 작아졌다. 산란기가 지나면 중앙부위의 추성부터 각질이 허물어지면서 사라졌다. 비산란기인 9월에는 추성이 대부분 사라지고 양 끝부분에 일부만이 흔적으로 남아 있었으며, 산란기가 되면 그 자리에서 다시 추성이 발달하였다 (Fig. 4).

고 찰

*A. signifer*는 일반적으로 수컷이 암컷보다 비교적 크며 이러한 크기의 차이는 성장속도의 차이가 아니라 생존하는 연령군의 차이에서 기인되는데, 암컷은 약 두 번의 산란기를 거친 후 수명을 다하게 되지만, 수컷은 많게는 4번째의 산란기를 거치므로, 산란에 참여하는 개체군에서는 수컷이 암컷보다 대체로 크게 나타나는 것으로 보고한 바 있다(백 등, 2002). 산란기의 수컷은 작은 말조개, *Unio douglasiae sinuolatus*를 중심으로 세력권을 형성하고, 암컷을 유인하여 산란하게 되는데, 이때 비교적 큰 수컷이 양질의 조개와 세력권을 확보하게 되므로, 암컷은 주로 크기가 큰 수컷을 배우자로 선택하게 된다. 이는 종내 동성 간의 경쟁과 이성 간의 선택이 작용하므로서 양질의 유전형질을 자손에게 물려주려는 성 선택 전략이기도 하다(Baek et al., 2004).

어류의 체색은 그 종을 특징짓는 고유의 형질로서 포식자나 기타 위협으로부터 자신을 보호하는 보호색의 역할을 하거나 산란기에 수컷간의 경쟁이나 암컷을 유인하기 위하여 체색의 강도를 높이기도 한다(Candolin and Reynolds, 2000). *A. signifer* 수컷의 혼인색은 등지느러미의 검은 띠가 넓어지고, 색이 더욱 선명해지는 특징이 있으나, 암컷의 체색은 은백색의 금속광택을 띠는 것 외에는 산란기와 비산란기 사이에 뚜렷한 차이점을 발견하지 못하였다. *A. signifer*는 칼납자루, *A. koreensis*, 입실납자루, *A. somjinensis* 등과 체색, 체형을 비롯한 외형이 같은 종으로 오인할 정도로 매우 유사하다. 본 연구에서 제시한 체색분석 방법을 이용하거나 이를 보완하여 사용한다면 어류의 혼인색 발현 패턴이나 유사 어종 간의 분류형질로서 이용 가능할 것으로 판단된다.

추성 (nuptial organ)은 잉어과(Cyprinidae)나 은어, *Plecoglossus altivelis* 등의 어류에서 산란기에 몸이나 지느러미 표면에 나타나는 것으로(김, 1991), *A. signifer*의 추성의 특징은 입의 바로 위 양쪽으로 각질 위에 밀집되어 형성되었으며, 눈 주변 및 상악, 하악 등의 입 주

변 등에는 추성이 형성되지 않는 특징이 있었다. 이는 다른 납자루아과에서 나타나는 추성분포(김, 1991; 中村, 1969)와 구별되는 점으로 유사종인 *A. koreensis*는 눈의 위쪽에 추성이 형성되며, 일본산 *Tanakia tanago*는 눈 주변과 하악 주변에도 추성이 분포하여 *A. signifer*와 매우 다른 특징이 있었다. 추성은 산란기를 알려주는 지표일 뿐만 아니라, 산란기에 자신의 세력권으로 들어온 다른 수컷의 개체와 세력권 다툼에서 사용하는 유용한 도구이며, 산란시에 암컷을 자극하는 데에도 사용하는 등, 산란기의 생태를 이해하는데 도움이 되므로 추후에 추성의 형성과정 기작 및 생태학적 역할을 규명할 필요가 있으리라 본다.

적 요

*A. signifer*의 성숙한 암수는 외형적으로 형태와 체색이 다르며, Hubbus and Laglar (1964)의 방법에 따라 계측한 11개의 형질 중에서 체장에 대한 두장 및 체고의 백분비, 두장에 대한 문장 및 양안간격의 백분비에서 암수 간에 유의한 차이가 있었다. 혼인색은 전체적으로 녹색계열의 색이 가장 폭넓게 분포하며 몸통부분은 녹색과 푸른색계열, 배 부위에는 노란색계열이 대부분이었고, 미병부는 붉은색계열과 노란색계열이 분포하였다. *A. signifer*의 추성은 입의 바로 위 양쪽으로 각질 위에 밀집되어 형성되어 있었다. 한쪽에 25~30개 정도의 추성이 있었고, 비산란기인 9월에 추성은 대부분 사라지고 양 끝부분에 일부만이 흔적으로 남아 있었다.

인 용 문 헌

- Baek, H.M., H.B. Song and O.K. Kwon. 2004. Reproductive Behavior of the Korean Bitterling, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae; Acheilognathinae). Kor. J. Ichthyol. 16: 201~209.
- Berg, L.S. 1907. Description of a new cyprinoid fish *Acheilognathus signifer* from Korea with a synopsis of all the Korean Rhodeina. Ann. Mag. Nat. Hist. 19: 159~193.
- Candolin, U. and J.D. Reynolds. 2000. Sexual signaling in the European bitterling: females learn the truth by direct inspection of the resource. Behavioral Ecology 4: 407~411.
- Hubbus, C.L. and K.F. Laglar. 1964. Fishes of the Great Lakes region. Univ. of Michigan Press. Ann. Arbor, pp. 213.
- 김영자 · 김종만. 2001. 한국산 날망둑속 3종(망둥어과)의 성

- 적 이형. 한국어류학회지, 13: 117~122.
- 김익수. 1974. 한국산 기름종개 *Cobitis taenia* Linne의 연구. 2. 이차성징에 관하여. 한국육수학회지, 7: 49~55.
- 김익수·양 현. 2002. 임실납자루 *A. somjinensis*의 이차성징 및 미소서식처. 2002년도 한국어류학회 추계학술대회 발표요지집, pp. 161~162.
- 김익수·최 윤·이충렬·이용주·김병직·김지현. 2005. 원색한국어류대도감. 교학사, 서울, pp. 106~112.
- 김치홍. 1991. 한국산 납자루속 (잉어과) 어류의 계통분류학적 연구. 전북대학교 대학원 박사학위논문, pp. 1~132.
- 변화근. 1996. 한국산 독중개 (*Cottus poecilopus* Heckel)의 성적 이형. 한국어류학회지, 8: 14~21.
- 백현민·송호복·권오길. 2002. 홍천강 상류에 서식하는 목납자루, *Acheilognathus signifer*의 연령과 성장. 한국어류학회지, 14: 254~261.
- 백현민·송호복·권오길. 2003. 홍천강 상류에 서식하는 목납자루, *Acheilognathus signifer*의 성 성숙과 산란시기. 한국어류학회지, 15: 278~288.
- 백현민. 2005. 목납자루 *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae)의 생태학적 연구. 강원대학교 박사학위논문, pp. 1~186.
- 백현민·송호복. 2005. 목납자루 *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae; Acheilognathinae)의 폐 내 산란과 적응전략. 한국어류학회지, 17: 105~111.
- 송호복. 1994. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* Mori (잉어과)의 생태학적 연구. 강원대학교 박사학위논문, pp. 1~181.
- 송호복·백현민·손영목. 2005. 밀어, *Rhinogobius brunneus* (Pisces: Gobiidae)의 성적 이형 및 수컷의 이형. 한국생태학회지, 28: 295~303.
- 양홍준·김용억·김익수·허형택. 1999. 어류학 용어 해설. 정행사, 서울, pp. 1~125.
- 채병수·양홍준. 1987. *Pungitius*속 어류의 성적이형. 1987년도 추계학술발표요지, 194 pp.
- 内田惠太郎. 1939. 朝鮮魚類誌, 第一冊, 絲鰓類, 內鰓類. 朝鮮總督府水産試驗場. pp. 133~140.
- 長田芳和. 1975. 世界のタナゴ類. 淡水魚, 2: 120~133.
- 中村守純. 1969. 日本のコイ科魚類. 資料科學研究所, 東京, pp. 5~99.

Received: February 7, 2006

Accepted: May 15, 2006